优化修筑运矿公路碎石路料级配方案的研究*

卢廷斌

(包钢(集团)公司白云鄂博铁矿,内蒙古 包头　014080)

摘　要: 以现场实验为依据,对比运矿公路主干道铺筑碎石路料不同级配方案的使用效果,从引发运矿公路病害的内因和外因着手,分析影响路面使用周期的主要原因,分析过程注重数据收集和实验对比,结合公路工程相关理论,确定最终优化方案。

关键词: 运矿公路; 碎石路料; 级配方案; 路面使用周期; 优化

中图分类号: TD854　　**文献标识码:** B　　**文章编号:** 1009-5438(2017) SO-0026-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.s1.007

Study on Optimization of Grading Scheme of Crushed Stone Material for Highway

LU Ting-bin

(*Baiyunebo Iron Mine of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014080, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: Based on field experiment, comparing the effect of different grading schemes for ore main road paving gravel material, the main causes of road life cycle are analyzed from the internal and external causes of mining road disease. The analysis process focuses on data collection and experimental comparison, combining with the relevant theory of highway engineering to determine the final optimization scheme.

Key words: mining road; gravel material; grading scheme; road life cycle; optimization

白云鄂博铁矿现在册运矿公路 31.5 km,公路运输系统承担着 4 000 多万 t 矿岩的生产总量,运矿公路修筑养护的质量和工作效率,关系着矿山生产能否顺利完成,关系着运矿汽车的安全、高效运行,关系着运矿汽车的运行成本,鉴于原先使用碎石路料级配方案已不能满足现在运矿公路修筑养护的需要,进行优化修筑运矿公路碎石路料级配方案的研究,以适应白云鄂博铁矿的生产形势和生产组织的需要。

1　影响运矿公路路面使用周期原因

运矿公路路面病害是影响路面使用周期的主要原因,而产生路面病害的原因是多方面的,究其根本,主要是从路面产生病害破坏的主要外因和内因(修筑用料)两个方面来分析。

1.1　运矿汽车对运矿公路的破坏形式分析

运矿汽车对路面的作用可分为停驻状态和行驶状态,从力学的角度来分析,当路面承载超出强度极限时将受到破坏; 长时间承载也会导致路面的疲劳损毁。白云鄂博铁矿运行的主要运矿车辆 172 t 电动轮的轮胎内压值 $P_i = 7.2 \sim 7.5$ MPa,其满载负荷 297 t,运行时的动载荷数值无疑更高,对运矿公路的破坏力极大。

1.1.1　运矿汽车对运矿公路的静态作用分析

*　**收稿日期:** 2017-06-05

作者简介: 卢廷斌(1971-),男,山西省朔州市人,采矿工程师,现从事采矿技术管理及运矿公路修护管理等工作。

中国知网　https://www.cnki.net

当运矿汽车处于停驻状态下，对路面的作用力为静态压力 P，静压力 P 值的大小与运矿汽车轮胎内压 P_i 值的大小、轮胎的刚度、轮胎与路面接触形状以及轮载的大小有关，根据相关理论，通常有 $P=(0.8\sim0.9)P_i$。运矿公路的垂直静压由 $P=(0.8\sim0.9)P_i$ 有：$P=(0.8\sim0.9)\times(7.2\sim7.5)$ MPa $=(5.76\sim6.75)$ MPa。

1.1.2　运矿汽车对运矿公路的动态作用分析

行驶状态的运矿汽车除了施加给路面垂直压力外，还会给路面施加水平力、振动力，而受车速的影响这两个力还有瞬间的特征；车辆在弯道处行驶时，为保持车身稳定不产生侧滑，轮胎还给路面施加侧向水平力。车轮施加给路面的各种水平力最大值 Q_{max} 与车轮的垂直压力 P 以及路面与车轮之间的附着系数 $\Phi(0.4\sim0.6)$ mm 有关，根据相关理论，通常有 $Q_{max}\leqslant P\Phi$。

运矿公路的水平力由 $Q_{max}\leqslant P\Phi$ 有：

$Q_{max}\leqslant P\Phi=(7.2\sim7.5)$ MPa $\times(0.4\sim0.6)=(2.88\sim4.5)$ MPa

通过以上的分析结论可以看出，运矿公路的垂直静压值 $P=(5.76\sim6.75)$ MPa 和水平力值 $Q_{max}=(2.88\sim4.5)$ MPa 是公路工程中其它一般性常用公路同数值的 10 倍左右，这就要求选取的路料自身具备很高的强度，同时需要运矿公路的路面结构也要具有很高的强度。如果路料自身强度不够，在外力作用下，路料本身将遭到破坏，导致路面结构发生变化，路面的强度随之下降；如果路面结构的强度不够，在垂直与水平荷载的作用下，运矿公路就会产生坑洼、推挤、拥包、波浪、车辙等破坏现象[1]。

1.2　运矿公路主干道车流状况分析

东采场 1 606～1 404 m 和主采场 1 626～1 514 m为采场公路运输系统的主干道，车流量最大，路面的承载时间也最长，是病害多发的路段。以东采场 1 000 万 t 采剥总量，主要运矿汽车为 12 台 108 t 电动轮，标定载重 95 t/车，计算采场运矿公路主干道的平均车流量约为 579 车 /d；以主矿采场 3 140 万 t，主要运矿汽车 12 台 172 t 电动轮，标定载重 165 t/车、2 台 220 t 电动轮，标定载重 205 t/车和 1 台260 t电动轮，标定载重 235 t/车，计算采场运矿公路主干道的平均车流量约为 1 083 车 /d。

通过对运矿公路主干道车流量的分析，说明白云博铁矿运矿公路车流量较大。运矿车在道路上行驶，由于车身自身的振动和路面的不平整，车轮实际是以一定频率和振幅在路面上跳动行进，作用在路面上的轮载时而大于静态轮载，时而小于静态轮载，呈波动状态。运矿车每天上千次行驶，在重复轮载的作用下，呈现出材料的疲劳性，这也是运矿公路破坏的主要直接原因之一[2]。

1.3　路料选取方面的原因分析

1.3.1　公路工程理论对路料的要求

公路工程的理论认为，碎石路面的强度主要依靠石料的嵌挤作用以及填充结合料的粘结作用，嵌挤力的大小主要取决于石料的内摩擦角；粘结作用的大小主要取决于填充结合料本身的内聚力及其与路料之间的粘附力大小。根据公路工程的理论，通过类似矿山考察后，结合白云博铁矿的实际情况，选取白云岩作为碎石路料原料，通过破碎站深加工达到修筑运矿公路的粒级要求。白云岩的主要力学参数经验指标如表 1 所示：

表 1　白云岩的主要力学参数经验指标

名称	抗压强度 /kPa	抗拉强度 /kPa	抗剪强度 /kPa	内聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
白云岩	1200～1400	34～40	87～95	200～500	87

白云岩的主要力学参数经验指标表明，白云岩是一种理想的碎石原料，用白云岩加工而成的碎石路料，在强度、韧性、抗磨耗能力方面符合公路工程理论上的需要。

1.3.2　级配碎石理论对路料的要求

级配碎石路面，是由各种集料按照最佳级配原理修筑而成的路面层，白云鄂博铁矿运矿公路的修筑类型为水结碎石路面。级配碎石是由粒径大小不同的材料按一定比例配合、逐渐填充空隙，并通过粘结作用，压实后形成密实的结构。级配碎石路面的强度是由摩阻力和粘结力构成，具有一定的水稳性和力学强度，碎石路面的强度由碎石之间的嵌挤作用及碾压时所产生的石粉与水形成的石粉浆的粘结作用形成的。目前破碎站生产的级配碎石料如表 2 所示：

表 2　碎石料级配表

编号	通过下列筛孔的质量分数/%					小于 0.5 mm 细料性质	
	40 mm	20 mm	10 mm	5 mm	<2 mm	液限 /%	塑性指数
1	100	40～60				<35	8～12
2		100	40～60			<25	<6
3			100	70～90	50～60	<25	<6

中国知网　https://www.cnki.net

目前生产三种型号的路料: 0 ~ 10 mm、10 ~ 20 mm、20 ~ 40 mm。修筑运矿公路选取的碎石级配路料不添加结合料,路面强度主要由压实作用以及水结作用产生,并且在路料筛分时,直接混合配制为不同级配的碎石路料分别堆置储存。

1.3.3 目前采用的级配方案分析

目前采用 20 ~ 40 mm 级配路料修护运矿公路主干道运矿,公路采用全铺式修筑工艺。铺设运矿公路横断面如图 1 所示。

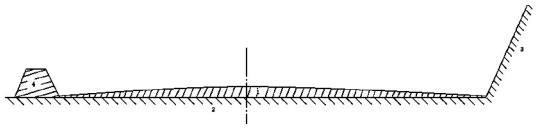


图 1 铺设运矿公路横断面示意图

在实践中也渐渐暴露出来主干道的维护频率明显高于辅助公路,有进一步优化碎石级配路料的空间和必要。

根据以上分析,造成运矿公路病害的主要原因在于路面承载大、车流量大、路料的级配方案存在不足。对于运矿汽车运行造成的病害,属于采矿生产的常态,不是我们解决问题的重点; 这进一步说明,优化级配路料方案,是改善运矿公路修护质量的主要原因。

2 碎石路料级配优化方案

针对采场内固定运矿公路修护工作中存在的不足,根据多年的实践经验,白云鄂博铁矿运矿公路路面平均厚度取 50 ~ 80 mm,压实系数 1.25 ~ 1.30,根据公路工程理论,按照碎石的最大粒径不超过碎石层压实厚度的 0.8 倍计算有: (50 ~ 80 mm) ÷(1.25 ~ 1.30) ×0.8 = (30.8 ~ 51.2) mm; 对应以上 30.8 ~ 51.2 mm 的计算结果,选取 30 ~ 50 mm 级配碎石路料,修筑采场固定公路符合技术的要求。新的级配方案,采用 0 ~ 20 mm 的路料做面层和保护层,所占比例约为 20%; 30 ~ 50 mm 的路料做垫层和基层,所占比例约为 80%,分层全断面铺设,修筑采场内的固定公路。

在主采场 1 626 ~ 1 528 m 固定公路中选取 1 542 ~ 1 528 m 斜坡路,使用 30 ~ 50 mm 级配路料进行了修筑,并对该路段进行了跟踪调查。两种不同级配方案修筑的运矿公路对照如表 3 所示:

表 3 两种不同级配方案修筑的运矿公路对照表

	1 542 ~ 1 528 m		1 626 ~ 1 542 m	
道路类型	采场固定公路干道		采场固定公路主干道	
路段长度	200 m		1.35 km	
修筑方式	分层全断面铺设		分层全断面铺设	
级配方案	0 ~ 30 mm 路料做面层和保护层,所占比例约为 30%; 20 ~ 40 mm 路料做垫层和基层,所占比例约为 70%		0 ~ 20 mm 路料做面层和保护层,所占比例约为 20%; 30 ~ 50 mm 路料做垫层和基层,所占比例约为 80%	
修筑时间	2015 年 6 月		2015 年 5 月	
车流量	1010 车/d		1083 车 /d	
	车流比值 = 0.93 ∶ 1.00			
	1 542 ~ 1 528 m		1 626 ~ 1 542 m	
	维修时间	使用周期(d)	维修时间	使用周期(d)
	6.3	62	7.13	30
	8.4	64	8.12	29
	10.7	56	9.10	30
	12.2		10.12	43
			11.24	35
			12.28	
平均周期		60.7	平均周期	33.4

经过跟踪调查,1 542 ~ 1 528 m 路段除运矿汽车流量相对主干道 1 626 ~ 1 542 m 略小外,其它运

中国知网 https://www.cnki.net

行使用条件均相同，其使用周期大幅提高，道路维护劳动强度大大降低。

3　应用效果

3.1　运矿公路使用周期大幅提高

运矿公路平均使用周期由 33.4 天，提高到 60.7 天，提升 60.7 天÷33.4 天＝1.82 倍，保障了道路使用质量的同时，大大减少了道路修护的工作量，降低了道路修护成本。

3.2　直接经济效益

原来每年的修筑次数为：365 天/a÷33.4 天/次＝10.93 次/a（取 11 次）；现在的修筑次数为：365 天/a÷60.7 天/次＝6.01 次/a（取 6 次）。每年减少路面维修 5 次，全部主干道完成一次修筑工作，全部工程设备耗油 4.5t（根据常年工作实际统计分析），柴油价格按照 0.47 万元/t 来计算，每年可节约工程设备燃油消耗实现直接经济效益：

5 次×4.5 t/次×0.47 万元/t＝10.58 万元。

3.3　间接经济效益

（1）提高修路质量，保证路面状况，降低运矿车故障率，提高运矿汽车生产效率。

（2）减少备品备件消耗，降低备品备件成本费用。

（3）减轻修路工、运矿车修理工的劳动强度。

4　结论

（1）优化后的级配方案在整个采场运矿公路主干道上已全面推广运用。

（2）采场运矿公路的修护工艺应当紧随矿山建设发展的步伐不断研究，继续探索适用于矿山生产需要的新型碎石级配方案。

参　考　文　献

[1]　浙江省公路管理局.公路养护技术规范［M］.北京：人民交通出版社，2009.

[2]　骆中洲.露天采矿学［M］.北京：中国矿业大学出版社，1990.

（上接第 4 页）

4　效果评价

2016 年钻机穿孔废孔统计见表 5，2016 年废孔率为 2.0%，比 2015 年废孔率 6.4%降低了 4.4%，废孔率的降低节约穿孔费用 25 元/m×16 m/个×11 448 个×4.4%＝201 485 元。

表 5　2016 年钻机废孔率统计表

指　标	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
验收孔数/个	1 421	1 073	900	976	799	411	655	1 209	997	1 053	1 108	1 076	11 678
爆破孔数/个	1 023	1 251	999	726	934	503	571	1 048	1 032	1 203	1 196	962	11 448
废孔数/个	398	−178	−99	250	−135	−92	84	161	−35	−150	−88	116	230
废孔率/%	38.9	−14.2	−9.9	34.4	−14.5	−18.3	14.7	15.4	−3.4	−12.5	−7.4	12.1	2.0

参　考　文　献

[1]　李宝祥，金属矿床露天开采［M］.北京：机械工业出版社，1992.

[2]　《采矿手册》编辑委员会.采矿手册［M］（第二卷）.北京：冶金工业出版社，1990.

中国知网　https://www.cnki.net